Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Göttingen
Direktor: Prof. Dr. Rebel.

Untersuchungen über die Schneidkraft moderner Rundbohrer

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der hohen medizinischen Fakultät
der Universität Göttingen

vorgelegt am 28. 12. 1937
von
ANTON GENAU
Zahnarzt aus Duderstadt

Duderstadt 1938

Dekan: Prof. Dr. W. Krantz
Berichterstatter: Prof. Dr. H. Rebel

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Januar 1938.

Gedruckt bei Aloys Mecke, Duderstadt

Zur Bearbeitung der Hartsubstanzen in der praktischen zahnärztlichen Tätigkeit hat man zunächst Handinstrumente von messer- und keilartigem Bau verwandt. Später sind bohrerartige Handinstrumente hergestellt worden. Als erste gaben Cornelius von Solingen 1681 und Fauchard 1728 solche zahnärztliche Handbohrer an, die Kugelform besaßen, aber noch wenig Verwendung fanden. Nach Einführung einer praktisch brauchbaren Bohrmaschine wurden für diese Maschinenbohrer konstruiert. — Es waren Rundbohrer, auf deren Kugeloberfläche, um eine schneidende bezw. fräsende Wirkung zu erzielen, mit der Hand Schneiden eingefeilt wurden. — Beide Bearbeitungsinstrumente sind unentbehrlich; kein gewissenhafter Praktiker wird auf die Handinstrumente verzichten wollen und kein Praktiker die Maschinenbohrer entbehren können. Die Konstruktion der ersteren ist im grundsätzlichen gleich geblieben und erfordert auch keine Weiterentwicklung. Die Bohrinstrumente hingegen haben sich aus primitiven, ziemlich willkürlich hergestellten Werkzeugen — die Schnittlinien der mit der Hand hergestellten Schneiden standen bald hoch, bald tief, waren bald bogen-, bald wellenförmig — zu Präzisionsinstrumenten entwickelt, deren Art der Herstellung sich im Laufe der Zeit immer mehr verbesserte und die jetzt maschinell nach ganz bestimmten wissenschaftlichen Grundsätzen angefertigt werden.

Das zu bearbeitende Hartsubstanzmaterial ist einerseits der Schmelz — etwa nach der Mohs'schen Härteskala dem Apatit entsprechend, Härtegrad 5, — andererseits das Zahnbein, das in seiner Härte dem kompakten Knochen entspricht.

Während der Schmelz, der ja nur etwa 4—6% organische Substanz enthält, höchstens und wahrscheinlich nur hie und da in seinem innersten Teil, nämlich dem der Schmelz-Dentingrenze zugehörigen, anatomische nervöse Gebilde besitzt, ist das Zahnbein in allen seinen Schichten außerordentlich reich an marklosen Nervenfasern und Endapparaten. Daraus ergibt sich zunächst, daß jede Arbeit im inneren Schmelzbereich, vor allen Dingen aber im Zahnbein, allein schon durch den Kontakt Reizempfindungen schmerzhafter Natur auslösen muß. Außerdem spielt bekanntlich

die durch Reibung des Bohrers entstehende Reibungswärme eine große Rolle. Der Schmelz selbst ist ein guter Isolator, denn erst bei etwa 95° C tritt Schmerzempfindung auf. Diese Temperatur verursacht nun eine Irritation der Pulpa, die je nach Grad und Dauer des Reizes zu kurz anhaltendem Schmerz ohne weitere Folgen, oder zu schwerwiegenden Schädigungen der Pulpa führen kann. Vogelsang hat an einigen Fällen Hyperämie der Pulpa mit Blutungen als Reaktion auf Bearbeiten des Zahnes (Schleifen und Bohren) festgestellt.

Wie groß die beim Bohren auftretende Wärme ist, läßt sich durch die an dem Bohrerkopf auftretenden Anlauffarben nachweisen. Holz - Freiburg veröffentlicht folgende Tabelle der Anlauffarben:

bei 220° C wird die Farbe des Stahles blaßgelb,
„ 230° C „ „ „ „ „ strohgelb,
„ 255° C „ „ „ „ „ braun,
„ 277° C „ „ „ „ „ purpurn,
„ 280° C „ „ „ „ „ hellblau,
„ 293° C „ „ „ „ „ dunkelblau,
„ 316° C „ „ „ „ „ schwarzblau.

Durch die so verfärbten Bohrer läßt sich die beim Bohren entstandene Hitze recht genau feststellen. Bei unsachgemäßem Bohren können tatsächlich Temperaturen bis zu 316° C auftreten.

Wir wissen, daß mit einem scharfen Excavator fast schmerzlos zerstörte Schmelz- und erweichte Dentinpartien entfernt werden können und erst ein Schmerz entsteht, wenn das Instrument die ziemlich an der Oberfläche oder gar ganz freiliegende Pulpa berührt. Bohrt man eine derartige Zahnhöhle mit hoher Tourenzahl — wie es allgemein üblich ist — aus, so hat der Patient während der ganzen Zeit des Bohrens unter heftigen Schmerzen zu leiden. Da das Prinzip beim Excavieren sowohl beim Handinstrument als auch beim Bohrer das gleiche ist (s. unten), kann dieser Schmerz nur durch die Hitze, die sich beim Bohren einstellt, hervorgerufen werden, und diese entsteht durch den Druck, den wir anwenden, um das Instrument überhaupt zur Wirksamkeit zu bringen, und die Reibung des rotierenden Stahles am Bohrobjekt; desweiteren durch den Spanabhub. Durch zweckmäßige Konstruktion und sachgemäße Anwendung des Bohrers sind diese Wärmequellen zwar zum größten Teil zu vermeiden, verlangen aber trotzdem bei

der Feinheit der Bohrerschneiden und der Härte des Bearbeitungsstoffes ein besonderes hochwertiges Ursprungsmaterial.

Bis 1910 wurde zur Anfertigung der Zahnbohrer ausschließlich Kohlenstoffstahl verwandt. Die Erfindung des legierten Stahles kam natürlich auch der Herstellung der zahnärztlichen Bohrer zugute, und jetzt hat die Bohrerindustrie durch jahrelange Versuche eine Stahllegierung gefunden, die den an einen Zahnbohrer gestellten Anforderungen entspricht. Es wurde festgestellt, daß ein Zusatz von beispielsweise Wolfram, Chrom, Vanadin, Molybdän oder Mangan die Schneidekraft und Schnitthaltigkeit der Stähle wesentlich verbesserte. Das Jota-Werk A.G., Düsseldorf, betont z.B., daß der Wolframzusatz seinem Jota-Stahl große Vorzüge vor dem gebräuchlichen Silberstahl (Kohlenstoffstahl), gäbe.

Maßgebend für die Qualität des Bohrers ist einmal eine genügende Härte seiner Schneiden, die ein vorzeitiges Stumpfwerden verhütet, andererseits muß der Stahl jedoch so weich sein, daß die Schneiden nicht spröde sind und deshalb ausbrechen. Man erreicht diese künstliche Härtung folgendermaßen:

Der Stahl wird auf etwa 750—800° C (sog. Härtetemperatur) erhitzt und dann plötzlich abgeschreckt. Nun ist er auf die Maximalhärte gebracht; die Schneiden sind aber zu spröde, sie brechen aus, werden schartig und haben keine Schneidekraft. Deshalb muß die Maximalhärte reduziert werden, d. h. die Schneiden müssen geschmeidig gemacht werden. Das geschieht durch das sogen. „Anlassen" oder „Nachlassen". In einem zweiten Arbeitsprozeß erwärmt man nämlich den Stahl neuerdings, aber nur auf etwa 100—180° C.

Nach Untersuchungen des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Stahlforschung in Berlin, beginnt die Enthärtung des Stahles bereits bei 120° C! Zur allgemeinen Technologie des Bohrens daher einige Worte.

Um nämlich die Wirkungsweise unserer Rundbohrer zu verstehen, ist es notwendig, sich mit einigen Grundbegriffen zu beschäftigen.

Ernst betont mit Recht, daß das als Zahnbohrer bezeichnete Instrument als ein kombiniertes Bohr- u. Fräswerkzeug betrachtet werden kann. Die Arbeit, die in axialer Richtung geleistet wird, nennt man „Bohren", die im Winkel zur Bohrachse geleistete Arbeit wird mit „Fräsen" bezeichnet. Die Fräse hebt das Material spanartig von der zu bearbeitenden Fläche ab und schabt mit

ihrer ganzen Oberfläche, während der Bohrer geradeaus in axialer Richtung in die Tiefe geht und vor Kopf und bis zum größten Horizontalumfang schneidet. Die Arbeitsweise des Bohrers ähnelt dabei der des Excavators: die scharfe löffelartige Schneide dringt erst in den Werkstoff ein und hebt dann durch eine „drehendschiebende" Bewegung unter weiterem Eindringungsdruck einen Span aus ihm heraus. Beide, Bohrer sowie Fräser, wirken also spanabhebend.

Wie aus vielen Nachweisen von Balters, Salzmann und Reiffert hervorgeht, kann man die Mehrzahl der heute im Handel befindlichen Bohrer als Fräser bezeichnen, da nur der Zweischneider, nicht der Mehrschneider ein wirklicher Bohrer ist.

Die ersten zahnärztlichen Bohrer waren reine Zweischneider. Wenn sie trotzdem von den Mehrschneidern aus der Praxis verdrängt wurden, so lag das daran, daß die Führung beim Bohren mangelhaft war und durch das Schlagen unangenehme Wirkungen beim Patienten auftraten, sodaß von seiner Verwendung in der Urform Abstand genommen werden mußte. So wurde der Mehrschneider geschaffen.

Beide, der Mehrschneider sowohl wie auch der Zweischneider, dienen zur Herstellung von Löchern in irgendeinem Material (Kavitäten im Schmelz und Dentin), unterscheiden sich aber in ihrer Wirkungsweise recht wesenlich. Stellen wir uns einmal den Vorgang des Bohrens vor:

Wir bohren mit einer gewissen Tourenzahl der Maschine und einem bestimmten Druck. Dabei spielen sich zwei Vorgänge ab, die des besseren Verständnisses wegen einzeln dargestellt werden sollen, während sie in Wirklichkeit nebeneinander herlaufen. Das Werkzeug wird mit seinen Schneiden in den Werkstoff hineingepreßt — sozusagen erst als Meißel — und dann gedreht. Arbeiten wir nun mit langsamer Tourenzahl, so dehnen wir die Zeit des Einpressens aus und die Schneiden haben Zeit, tief einzudringen, viel Material auszuschälen. Bei hoher Umdrehungszahl dagegen ist die Zeit des Einpressens der Schneiden in das Material klein, sie werden oberflächlich darüber hinweggleiten und ihre Schneidekanten werden gleichsam rund poliert. Also: langsame Tourenzahl!

Und wie ist es mit dem Druck? Huet hat nachgewiesen, daß der Zweischneider eines entsprechend geringeren Druckes als der Mehrschneider bedarf. Lastet beispielsweise auf einem Zwei-

schneider bei einer Umdrehung der gleiche Druck wie auf einem Zehnschneider, so wird er 5 mal so tief in das Material eindringen wie letzterer, da sich bei diesem der gleiche Druck auf 5 mal mehr Schneiden verteilt. Also ist die Kraftanstrengung bei einem Zehnschneider eine wesentlich größere. Höherer Druck bedeutet eine größere Wärmeentwicklung. Das Bohren wird schmerzhaft empfunden und die Konstitution des Stahles herabgesetzt und verändert, er wird brüchig und vorzeitig stumpf und wirkt nun wie ein Quirlfeuerzeug der Indianer.

Auch Salzmann hat in letzter Zeit nachgewiesen, „das nicht dem Mehrschneider, sondern nur dem Zweischeider die größte Leistung zukommt. Der unwillkürlich aufkommende Einwand, daß 2 Schneiden schneller abgenutzt werden als etwa 8 oder 10, läßt sich leicht dadurch widerlegen, daß der Reibungsverschleiß immer größer ist als der Verschleiß durch Schneiden. Der Zweischneider hebt eigentlich nur 2 Späne ab, die leicht durch die Form der Bohrer fortgeschafft werden; der Mehrschneider viele kleinste Späne, die sich leicht zwischen die Schneiden legen und bei ihrer Härte im Bohrloch verbleiben“ und dort wie Schmirgel wirken.

Von Wichtigkeit ist auch der Schneidwinkel eines Instrumentes (Winkel S der Abb. 1). Konstruieren wir die Zähne eines Bohrers so, daß ihre Spitzen senkrecht auf der Kugeloberfläche stehen, so werden wir höchstens eine schabende Wirkung erzielen, während sie, wenn wir sie in einem spitzen Winkel anbringen, eine schneidende Wirkung hervorrufen.

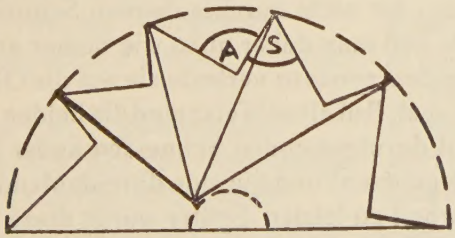

Abb. 1.

Bei zu steilem Ansatzwinkel (Winkel A der Abb. 1) kratzt der Bohrer und wird leicht stumpf; bei zu flachem werden die Zähne zu schwach und brechen leicht aus. Für beide Winkel haben die Konstrukteure der Zahnbohrer im Laufe der Zeit die richtige Größe herausgefunden.

Von diesen Erfahrungen ausgehend trat im Jahre 1910 eine umwälzende Änderung in der Konstruktion der Bohrer ein. Während sich bis dahin die Schneiden der Bohrer in einem Punkte der Bohrerachse trafen, wurde nun durch die führende amerikanische Firma (S.S.White) ein Bohrer konstruiert („Revelationsbohrer"), der eine durchgehende Schneide besaß.

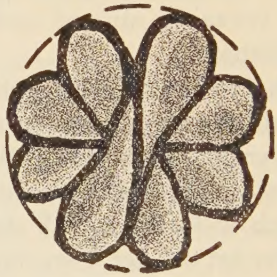

Abb. 2.

Bei ihm fällt der Punkt, in dem die Schneiden sich treffen und der infolge Fehlens geeigneter Herstellungsmaschinen eine verhältnismäßig große Fläche bildete, die keine schneidende Arbeit leistete, fort.

Diese Konstruktion wurde im Laufe der Jahre von fast allen Bohrerfabriken übernommen und hielt sich bis 1929 unverändert. Funke änderte sie in diesem Jahre dahin ab, daß er die durchgehende Schneide sich über den Bohrerkopf erheben ließ und so eine Kugelfräse mit einem Zweischneider versah. Desweiteren erkannte man jetzt, daß zusätzliche Wärmequellen in den Vereinigungspunkten der nicht durchlaufenden Schneiden auftreten. Ihre Treffpunkte ließ man daher nicht wie bisher auf einer Kugeloberfläche verlaufen, sondern verlegte sie auf die Oberfläche einer abgeplatteten Kugel. Auf diese Weise sind die beiden Vereinigungspunkte der nicht durchgehenden Schneiden außer Berührung mit dem Werkstück gebracht und die eine durchlaufende Schneide hat nun die Hauptarbeit zu leisten. Später wurde diese Schneide noch durch quer zur Achsenrichtung laufende Nuten unterteilt, um eine Erhöhung des Wirkungsgrades zu erreichen.

Eine ganz neue Konstruktion des Bohrers brachte in jüngster Zeit Hollmann heraus. Er teilte die einzelnen Schneiden der 4 Paar Bohrschaufeln seines Instrumentes in wirksame Teile auf und ordnete diese in vertikaler Richtung so auf dem Umfang des

Bohrerkopfes an, daß sie sich regelmäßig ablösen, sodaß nur immer 2 Schneiden arbeiten. Die Abbildung 3, die ich Seiffert entnommen habe, zeigt diese wirksamen Teile dreier Schaufelpaare in die Papierebene projiciert.

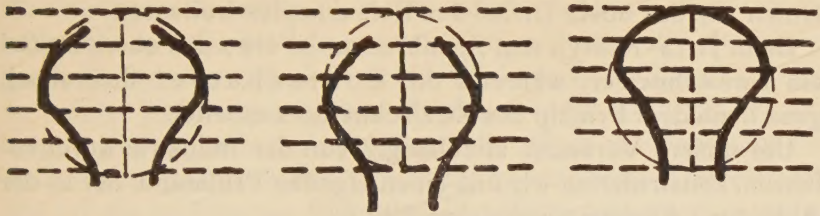

Abb. 3.

Die Aufgabe unserer Arbeit ist, vergleichende Untersuchungen über die Schneidkraft moderner Rundbohrer durchzuführen, d. h. wir wollen feststellen, welcher der zur Zeit in Deutschland hergestellten und am meisten gebrauchten Rundbohrer bei gleicher Zeit und konstantem Druck die größte Bohrwirkung erreicht.

Im Laufe unserer Versuche machten wir die Beobachtung, daß die optimale Leistung eines Bohrers einerseits bei einer dem Werkstoff entsprechenden Tourenzahl und Druck erzielt wird, andererseits aber von der Härte des Bohrobjektes abhängig ist, d. h. eine Bohrergruppe hat eine größere Wirksamkeit auf hartem Material (Schmelz), eine andere zeigt eine gewisse Überlegenheit bei weichen Substanzen (Dentin, Amalgam).

Für unsere Versuche verwandten wir Rundbohrer der Größen 4, 5 und 6 folgender Bohrerfabriken:

1. H. F. Hollmann, Dortmund: Bohrschaufel
2. Jota-Werk, Gebr. Funke, Düsseldorf: a) Spanbrecher
   b) Neotyp
3. Busch u. Co, Engelskirchen: Buschbohrer
4. Hager u. Meisinger, Düsseldorf: Meisingerbohrer
5. Gebr. Brasseler, Düsseldorf: Drallbohrer.

Als Grundform der Konstruktion aller dieser Bohrerfabrikate, auch der Bohrschaufel, die man durch Betrachten des Bohrers in Richtung der Achse auf den Bohrerkopf schon makroskopisch feststellen kann, ist unschwer immer noch der Revelationsbohrer zu erkennen, denn alle Bohrer zeigen die durchgehende Schneide.

Der Busch- und Meisinger-Bohrer sind Mehrschneider, deren Konstruktion sich engstens an den Revelationsbohrer anlehnt.

Der Drall-Bohrer zeigt in Bezug auf Schneidenanordnung ungefähr dasselbe Bild wie der Busch-Bohrer, nur finden wir bei ihm in Form einer unsichtbaren Spirale an sämtlichen Schneiden Nuten, die das obere Drittel des Bohrerkopfes freilassen.

Beim Jota-Neotyp und Spanbrecher ist etwa das obere Drittel ein Zweischneider, während die Bohrschaufel theoretisch ganz nach dem Prinzip des Zweischneiders arbeitet.

Um unsere Versuche unabhängig von der Industrie durchzuführen, konstruierten wir uns einen eigenen Prüfstand, der in der Abbildung 4 schematisch dargestellt ist:

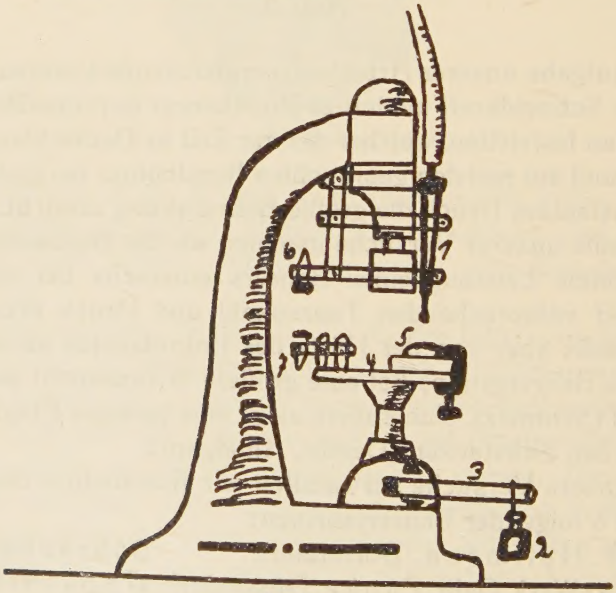

Abb. 4.

An den Kopf einer Tischbohrmaschine — sie selbst konnten wir wegen ihres unregelmäßigen Laufes nicht verwenden; es traten bei ihr Umdrehungsschwankungen von ca. 100 Touren in der Minute auf — ist ein Handstück (1), das an jede beliebige zahnärztliche Maschine angeschlossen werden kann, zur Aufnahme des zu prüfenden Bohrers befestigt. Gegen den Bohrer wird mittels eines durch ein Gewicht (2) wirkenden Hebels (3) ein Teller (4) gedrückt, der das auf ihm mit Schraubzwingen befestigte Bohrobjekt (5) trägt. An dem Kopfteil der Bohrmaschine und auf der Platte (4) sind zwei Anschläge angebracht, die in nach oben (6) bezw. unten

(7) gerichteten Spitzen auslaufen. Mit einer Mikrometerschraube kann man nun den Abstand von (6) und (7), dessen Differenz vor und nach einer Bohrung die genaue Bohrtiefe angibt, auf 1/100 mm genau messen.

Mit dieser Maschine ist es möglich, jeden Bohrer unter gleichen Bedingungen zu prüfen, d. h. man setzt den Druck, die Umdrehungszahl und die Zeit als konstant fest und mißt die von einem jeden Bohrer erreichte Bohrtiefe. Auf diese Weise kann man die in axialer Richtung geleistete Arbeit, also die wirkliche Bohrarbeit, prüfen, während allerdings die durch Veränderung der Bohrrichtung und seitliche Verschiebung auftretende Fräswirkung, die bei der praktischen Bohrtätigkeit auftritt, fast gänzlich unberücksichtigt bleibt.

Auf der Suche nach einer geeigneten Bohrmaschine mußten wir feststellen, daß fast sämtliche neue Fabrikate (Ritter, Kaltenbach und Voigt, Siemens-Reiniger) sogar bei Benutzung der 1. Stufe des Anlaßkontaktes zum Bohren auf Hartsubstanzen eine viel zu große Umdrehungsgeschwindigkeit besitzen. Von 18 liegt bei 12 Maschinen in langsamster Stufe die Umdrehungszahl zwischen 1200 bis 1690. Die restlichen 6 Bohrmaschinen — sie sind sämtlich älteren Typs — haben zwar bei Stufe 1 eine Umdrehungsgeschwindigkeit von 680 bis 1200, dafür geht aber ihre zum Schleifen benötigte Höchstgeschwindigkeit nicht über 2500 Umdrehungen pro Minute hinaus.

Zur exakten Durchführung der Versuche bereitete die Frage eines geeigneten Werkstoffes besondere Schwierigkeit, da ja die Bohrer in der Praxis ihre Arbeit in Substanzen ganz verschiedener Härte zu leisten haben, und wir in der Durchführung der Versuche der Praxis möglichst nahe zu kommen trachteten.

Als erstes versuchten wir eine Aluminiumlegierung mit einer Brinellhärte von 48,6 Einheiten. Sie war natürlich zu weich, der Bohrer erzeugte keine Bohrspäne, sondern schälte lange Fäden aus; die Räume zwischen den Bohrschneiden füllten sich schnell mit Aluminium an. Ein schnelles Nachlassen der Leistung des Bohrers und ein unsauberes Bohrloch waren das Ergebnis.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Werkstoffbeschaffung trat auf in der Übertragung der Werte der Mohs'schen Skala in das Brinell'sche System, da es keine direkten Vergleichswerte zwischen Brinellhärte und Mohs'scher Härte gibt. Im allgemeinen kann

man aber die Mohs'sche Härte 4 = 400 Brinell-Einheiten setzen und Mohs'sche Härte 5 = 500 Brinell-Einheiten (nach Angaben der Friedr. Krupp A.-G., Essen).

Wir hielten zunächst ein Metall mit der Härte von 500 Brinell-Einheiten (Mohs'sche Härte 5 = oben genannte Schmelzhärte) zur Versuchsführung für geeignet. Um dieses zu bekommen, wandten

Tabelle 1.

Messing: Bohrergröße 6

Umdrehungszahl: Druck:
1050 pro Min. ca 3000 g konst.

Bohrzeit: 10 Sek.

Bohrer	Hollmann	Jota Spanbrech.	Jota Neotyp	Busch	Meisinger	Drall
1.	2,69	1,41	2,11	2,83	2,09	0,99
	2,76	1,45	2,12	2,91	1,93	1,03
	2,78	1,35	2,08	2,83	2,03	1,04
	2,64	1,32	2,04	2,90	1,89	1,06
	2,72	1,38	2,09	2,87	1,98	1,03
2.	2,64	1,61	1,37	2,66	2,18	1,14
	2,37	1,61	1,31	2,45	2,05	1,13
	2,43	1,55	1,37	2,44	2,03	1,19
	2,67	1,54	1,24	2,52	2,01	1,18
	2,50	1,58	1,32	2,52	2,07	1,18
3.	4,41	1,48	2,09	1,79	3,07	1,11
	4,25	1,38	1,94	1,92	3,00	1,12
	4,20	1,39	1,89	1,75	2,98	1,18
	4,24	1,36	1,90	1,64	2,98	1,11
	4,27	1,40	1,95	1,82	3,01	1,13
4.	1,83	1,47	1,72	2,88	3,04	1,17
	1,78	1,45	1,62	2,77	3,02	1,12
	1,73	1,50	1,72	2,86	2,93	1,10
	1,79	1,49	1,69	2,83	2,94	1,15
	1,77	1,48	1,69	2,83	2,98	1,13
5.	3,70	2,14	1,45	1,90	2,60	1,38
	3,52	2,03	1,47	1,81	2,53	1,28
	3,60	1,95	1,41	1,90	2,47	1,26
	3,61	2,00	1,39	1,88	2,55	1,31
	3,61	2,03	1,43	1,87	2,54	1,31

wir uns an die Fa. Krupp; leider konnten sie uns ein Stück Stahl, das unseren Anforderungen entsprach, nicht liefern. Wir verwandten daher eine Platte aus homogenem Messing. Der Bohrer erzeugte bei ihm feinste Bohrspäne. Es ergab sich ein sauberes Bohrloch; wir konnten aber bei 20 Bohrungen mit demselben Bohrer praktisch sowie makroskopisch kein Nachlassen der Schärfe feststellen. Trotzdem ergaben Bohrungen in Messing über die Bohrschärfe der einzelnen Fabrikate ganz interessante Aufschlüsse.

Mit jedem Bohrer stellten wir 4 Versuche an und errechneten daraus als 5. Wert in der Tabelle den Durchschnitt. Als Bohrdruck wandten wir für Rundbohrer Nr. 6 ca 3000 g konstant an und setzen dazu als Bohrzeit 10 Sekunden fest, da bei längerem Bohren die Bohrtiefe zu groß wurde, sodaß sich bald die Stelle des sich konisch verdickenden Bohrschaftes, die etwas stärker als der größte Umfang des Bohrerkopfes war, im Bohrloch klemmte, und der Bohrer nicht weiter in die Tiefe dringen konnte.

Aus der Tabelle 1 kann man ersehen, daß die Bohrschärfe der einzelnen Bohrer desselben Fabrikates ganz verschieden ist. Den größten Schwankungen in dieser Hinsicht unterliegt die Bohrschaufel, die nach Seiffert halb Maschinen- und halb Handarbeit ist und demzufolge noch keinen Anspruch auf Präzisionsarbeit erheben kann wie die anderen Fabrikate.

Nach Zusammenrechnung der Durchschnittswerte obiger Tabelle bekamen wir folgendes Bild von der Bohrschärfe der einzelnen Fabrikate:

Tabelle 2.

Hollmann	Jota Spanbrecher	Jota Neotyp	Meisinger	Busch	Drall
2,72	1,38	2,09	1,98	2,87	1,03
2,50	1,58	1,32	2,07	2,52	1,18
4,27	1,40	1,95	3,01	1,82	1,13
1,77	1,48	1,69	2 98	2.83	1,13
3,61	2,03	1,43	2,54	1,87	1,31
2,97	1,57	1,69	2,52	2,28	1,15

Trotz der großen Schwankungen in der Schärfe seiner einzelnen Bohrer erreicht also die Bohrschaufel noch den besten Durchschnittswert; ihr nicht viel nach steht der Meisinger-Rundbohrer und dann der Busch-Bohrer. Überraschend ist das schlechte Abschneiden der beiden Jota-Fabrikate und des Drall-Bohrers.

Um diese Resultate nachzuprüfen, wurden Vergleichsbohrungen in künstlichem Zahnbein und in Knochen vorgenommen; das Ergebnis war das gleiche!

Die Lupe und das Mikroskop zeigten einen nur geringen Verschleiß der Schneiden sämtlicher Bohrer. Die Nuten des Spanbrechers sowie des Drall-Bohrers waren fast ganz mit Spänen des bearbeiteten Bohrobjektes ausgefüllt; so erklärt es sich wohl, daß der Jota-Neotyp hier dem Spanbrecher leicht überlegen ist.

Um festzustellen, ob der Druck irgendeinen Einfluß auf dieses Resultat ausübt, erhöhten wir ihn und zwar dadurch, daß wir für Bohrergröße 4 500 g mehr Druck anwandten, also 3500 g konstant; in einer Bohrzeit von 10 Sekunden erhielten wir bei 6 Bohrungen mit demselben Bohrer folgende Durchschnittswerte:

Messing: Tabelle 3. Bohrergröße 4

Umdrehungszahl: 1050 pro Min. Druck: 3500 g konst.

Bohrzeit: 10 Sek.

Bohrer	Hollmann	Jota Spanbrech.	Jota Neotyp	Busch	Meisinger	Drall
1.	3,79	2,22	2,38	3,06	3,08	2,34
2.	3,75	2,16	2,35	2,98	2,71	2,08
3.	3,73	2,13	2,46	3,00	2,82	2,51
4.	3,77	2,16	2,39	3,12	3,00	2,21
5.	3,65	2,12	2,45	2,98	2,81	1,95
6.	3,57	2,11	2,40	3,00	2,73	2,53
	3,71	2,15	2,40	3,02	2,87	2,27

Also ungefähr die gleichen Ergebnisse; nur der Busch-Bohrer hat sich gegenüber dem Meisinger-Bohrer gebessert und der Drall-Bohrer gegenüber dem Spanbrecher.

Unsere Versuche zeigen, daß für das Bearbeiten von Zahnbein und das Entfernen von Amalgam-Füllungen (Härteähnlichkeit mit den Versuchsobjekten) die Bohrschaufel, der Meisinger- oder der Busch-Bohrer in absteigender Ordnung den Vorzug verdienen.

Da wir bei den Versuchen auf Messing, wie oben erwähnt, keinen nennenswerten Verschleiß feststellen konnten, der Bohrer aber bei der Bearbeitung eines so harten Materials wie Schmelz sehr schnell unbrauchbar wird, mußten wir uns nach einer Substanz umsehen, die ungefähr die gleiche Zusammensetzung wie der menschliche Zahnschmelz hat und auf demselben Stück auch hier vergleichende Bohrversuche in größerer Zahl zuließ.

Nach Türkheim entspricht die Härte des Pferdezahnschmelzes ungefähr derjenigen des menschlichen Zahnes:

Tabelle 4.

Menschlicher Zahnschmelz:		Pferdezahnschmelz:
Kalk (CaO)	50,22%	50,88%
Magnesia (MgO)	0,73 „	0,54 „
Tonerde (Al_2O_3)		0,40 „
Phosphorsäure (P_2O_5)	40,67 „	39,24 „
Kohlensäure (CO_2)		3,10 „
Kieselsäure (SiO_2)		0,05 „
Organische Stoffe und Feuchtigkeit	6,82 „	4,98 „
Fluor	1,08 „	vorhanden
Schwefel	0,29 „	vorhanden

Unterschiedlich horizontalverlaufende Verkalkungszonen im Schmelz suchten wir dadurch zu begegnen, daß wir unsere Bohrungen von cervikal nach incisal hin anlegten, sodaß jeder Bohrer bei den einzelnen Versuchen in der gleichen Schmelzzone arbeitete.

Dabei ergab sich nun ein Bild, das weit von dem Ergebnis der ersten Versuche abwich und eine Abänderung unseres Prüfstandes erforderte. Wir verwandten die gleiche Umdrehungszahl und denselben Druck des letzten Versuches auf Messing und erreichten in einer Bohrzeit von 90 Sekunden mit dem Busch-Bohrer 0,94 (0,36) mm, mit Meisinger 0,98 (0,54) mm und mit der Bohrschaufel 1,19 (0,70) mm bei der Bohrergröße 5. Der Jota-Neotyp und Spanbrecher hatten schon ehe 60 Sekunden, der Drall-Bohrer bevor 90 Sekunden der Bohrzeit erreicht waren, die Schmelzschicht des Pferdezahnes durchbohrt. Da bei einer geringeren Zeit die Meßwerte bei den übrigen Bohrungen zu klein wurden und dadurch

ein zu unübersichtliches Bild entstand (s. 2. Zahl der angeführten Werte), änderten wir unseren Prüfstand um, sodaß wir jetzt nicht mehr die Bohrzeit als konstant annahmen, sondern die Bohrtiefe.

Wir entfernten den am Kopf der Bohrmaschine angebrachten oberen Anschlag (6) und ließen die Spitze des unteren (7) nach oben zeigen, sodaß sie, wenn der Teller (4) durch das Gewicht (3) nach oben gedrückt wurde, Kontakt mit dem verstellbaren Schaft einer in einem Stativ befestigten Mikrometerschraube bekam und dadurch einen Stromkreis schloß, der eine Birne aufleuchten ließ. An der Mikrometerschraube kann man nun die gewünschte Bohrtiefe auf 1 / 100 mm genau einstellen. Man läßt das Bohrobjekt mittels des gewünschten Druckes gegen den zu prüfenden Bohrer drücken, schraubt nun die Mikrometerschraube soweit herunter, daß die Birne aufleuchtet, liest den Wert ab und dreht dann den verstellbaren Schaft in der gewünschten Bohrtiefe zurück. Wenn man nun bohrt, leuchtet die Birne auf, sobald die eingestellte Tiefe erreicht ist.

Für die nächsten Versuche auf Schmelz nahmen wir die Bohrer der Tabelle 1 — ihr Verschleiß war ja, wie gesagt, unbedeutend — die dem dortigen Durchschnittswert am nächsten kamen und bezeichneten sie mit der gleichen Nummer der obigen Tabelle.

Schliffe des Pferdezahnes zeigten, daß die Dicke des Schmelzes zwischen 0,9 und 1,5 mm schwankte. Da bei der Einstellung von 1 mm als Bohrtiefe eine ziemlich große Ungenauigkeit entstanden wäre, sobald der Bohrer die Stellen mit nur 0,9 mm Schmelzdicke bearbeitet hätte, und um mit demselben Bohrer eine größere Zahl Bohrungen ausführen zu können und dadurch eine bessere Übersicht zu bekommen, setzten wir für jede Bohrung eine Bohrtiefe von 0,75 mm fest. Als Tourenzahl nahmen wir wieder 1050 Umdrehungen pro Minute — die Zahl entspricht dem Durchschnitt der langsamsten Stufe unserer Bohrmaschinen — und als Druck ca 4000 g konst., da Vorversuche gezeigt hatten, daß bei geringerem Druck die Leistung der Bohrer auf Schmelz nicht groß genug war, um gute Vergleichswerte zu erzielen.

Sobald ein Bohrer die angegebene Tiefe in 2 Minuten nicht mehr erreichte, wurde der Versuch abgebrochen. Das Ergebnis in tabellarischer Übersicht:

Tabelle 5.

Schmelz: Bohrergröße 6

Umdrehungszahl: Druck:

1050 pro Min. ca 4000 g konst.

Bohrtiefe: 0,75 mm

Bohrschaufel (1)	4,1	5,8	17,5	34,6	113,0			
Spanbrecher (2)	2,6	2,8	2,8	3,4	6,6	7,8	23,3	71,2
Neotyp (4)	3,5	7,4	9,1	16,0	28,5	54,3		
Busch (2)	29,6	95,3						
Meisinger (5)	24,2	55,4						
Drall (4)	2,7	4,2	14,6	34,5	98,3			

Die Tabelle zeigt eine große Überlegenheit des Jota-Spanbrecher — 8 Bohrungen — und Neotyp — 6 Bohrungen —; nach ihnen kommt der Drall-Bohrer und die Bohrschaufel mit je 5 Bohrungen, während der Meisinger- und Busch-Bohrer hier wesentlich schlechter abschneiden.

Bei der Betrachtung unter dem Mikroskop zeigte der Spanbrecher am oberen Drittel des Bohrerkopfes leichte gelbliche Verfärbung; seine durchgehende Schneide war stark abgeschliffen, wies aber keine Gratbildung auf. Die drei mittleren Nuten waren voll Bohrstaub.

Beim Neotyp war die Verfärbung nicht so stark, ebenfalls hatte die durchgehende Schneide keinen so großen Verschleiß wie die des Spanbrechers.

Der Drall-Bohrer wies eine schwach gelbliche etwas rötliche Verfärbung auf; die Nuten waren unterschiedlich voll Bohrspäne, die Schneiden zeigten einen ziemlich starken Verschleiß. Die durch die Einkerbungen entstandenen Ecken der Schneiden waren zum Teil abgerundet und wiesen etwas Grat auf.

Am stärksten mitgenommen erschien die Bohrschaufel, sie zeigte eine Verfärbung von gelblich nach hellblau. Die durchgehende Haupt- und die mittlere Nebenschneide waren vor Kopf direkt abgeplattet, glänzten silbern und sahen aus, als ob sie eingedrückt wären. Für die Bohrschaufel sind entweder die Bedingungen, unter denen die Versuche durchgeführt wurden, zu ungünstig gewesen oder die Schneiden sind zu lang oder der Stahl ist zu weich.

Der Busch- und Meisinger-Bohrer hatten ungefähr gleichmäßigen etwas stärkeren Verschleiß als der Jota-Neotyp; sie waren schwach gelblich verfärbt.

Eine Erhöhung des Druckes auf ca. 4500 g konstant bewirkte eine Verbesserung der Resultate des Spanbrechers (9 Bohr.), des Neotyps (8 Bohr.) und des Meisinger-Bohrers (3 Bohr.), während die Ergebnisse des Drall- und des Busch-Bohrers ungefähr gleich blieben, verschlechterte sich die Bohrschaufel auf nur drei Bohrungen. Für sie war also der Druck zu hoch.

Um festzustellen, ob sich bei geringerem Druck und niedrigerer Tourenzahl die Resultate der Bohrschaufel noch änderten, nahmen wir nun einen Bohrdruck von ca. 2800 g konstant — um mit dem Rundbohrer Nr. 6 überhaupt eine annehmbare Wirkung auf Schmelz zu erzielen, muß er schon so hoch sein — und verringerten die Umdrehungszahl auf 820 pro Minute.

Hier erreichte die Bohrschaufel zwar ungefähr die gleichen Resultate wie der Spanbrecher — mit beiden konnten wir drei Bohrungen ausführen im Gegensatz zu den anderen Bohrern mit nur je einer — aber die Ergebnisse waren als Vergleichswerte nicht zu verwenden.

Zum Schluß unserer Arbeit unternahmen wir noch einmal Bohrversuche mit dem Rundbohrer Größe 4 und zwar mit geringer Tourenzahl — 820 Umdrehungen pro Minute — und hohem Bohrdruck — ca. 4000 g konstant —, also mit Bohrbedingungen, die den von Salzmann für diese Bohrergröße als günstigste angegebenen sehr nahe kamen.

Tabelle 6.

Schmelz: Bohrergröße 4
Umdrehungszahl: 820 pro Min. Druck: ca. 4000 g konst.
Bohrtiefe: 0,75 mm

Bohrschaufel:	6,8	16,5	19,5	40,7	118,1				
Spanbrecher:	1,9	2,0	1,8	2,1	1,9	1,9	2,1	3,4	4,0
	4,9	20,5	28,4	53,5	109,1				
Neotyp:	2,6	2,8	3,8	3,9	6,5	26,0	54,5	114,6	
Meisinger:	2,5	4,2	10,0	36,5	60,3	92,1			
Busch:	3,6	4,7	7,6	42,4	60,5	119,7			
Drall:	2,1	2,2	3,0	6,0	10,0	15,8	22,0	35,0	58,2

Der Jota-Spanbrecher zeigt weiter seine große Überlegenheit; er erreicht mehrere Male in geringer Sekundenzahl die angegebene Bohrtiefe, um dann schnell mit seiner Leistung abzufallen, im Gegensatz zum Drall-Bohrer, der ebenfalls eine größere Zahl Bohrungen zuläßt, aber von kurzer guter Leistung ganz allmählich zum völligen Versagen übergeht.

Der Jota-Neotyp steht mit seiner Leistung an dritter Stelle, kann aber die Ergebnisse des Spanbrechers nicht erreichen.

Der hohe Druck ist den Busch- und Meisinger-Bohrern, die fast als reine Fräser anzusehen sind, sehr zugute gekommen, während die Bohrschaufel — trotzdem sie hier bessere Leistungen erzielt als bei früheren Versuchen — durch ihn stark benachteiligt scheint. Sie macht unter dem Mikroskop wieder den gequältesten Eindruck, ihre Arbeitsleistung entspricht also nicht den theoretischen Überlegungen.

Allen bisherigen und so auch unseren Untersuchungen haftet natürlich ein Fehler an. Der Wert und die Bedeutung der Konstruktion des Bohrerkopfes und der Bohrerschneiden kann ja nur dann entgültig und völlig eindeutig geprüft werden, wenn die zu prüfenden Bohrer mit den verschiedenen Konstruktionen aus demselben Ursprungsmaterial hergestellt sind und wenn die Bearbeitung dieses Stahles (Härtung, Anlassen) genau die gleiche ist. Dieses wird sich aber wahrscheinlich nicht durchführen lassen, jedenfalls könnte es nur eine sehr leistungsfähige Bohrerfabrik tun.

Zusammenfassung:

Unsere Versuche, die sich auf über 1400 Bohrungen erstrecken, haben folgendes ergeben:

1. Die Höhe der Bohrleistung der einzelnen Bohrerfabrikate ist wesentlich von der Härte des Bohrobjektes abhängig; Bohrertypen, die ausgezeichnet im Schmelz arbeiten, versagen im Zahnbein und umgekehrt.

2. Zur Bearbeitung von weniger harten Substanzen (Zahnbein, Amalgam) sind Konstruktionen wie beispielsweise Bohrschaufel, Busch- oder Meisinger-Bohrer sie aufweisen, zu verwenden.

3. Zur Bearbeitung von Schmelz ist eine Konstruktion, wie beispielsweise der Jota-Spanbrecher aufweist, anderen von uns geprüften Konstruktionen überlegen; von den letzteren haben der Neotyp und Drall-Bohrer die zweitbesten Ergebnisse gezeitigt.

4. Die Bohrschärfe der einzelnen Bohrer ein und derselben Herkunft unterliegt z.T. sehr starken Schwankungen.

5. Die Umdrehungszahl einiger zur Zeit allgemein verwandter Bohrmaschinentypen ist für das Bohren (nicht das Schleifen) viel zu hoch.

Am Ende meiner Arbeit möchte ich Herrn Prof. Dr. Rebel für die freundliche Überlassung des Themas sowie für seine Unterstützung bei der Ausarbeitung desselben meinen ehrerbietigsten Dank aussprechen.

Literaturverzeichnis:

Balters: Psychotechnik. Aus MISCH „Die Fortschritte der Zahnheilkunde" Band 8, 1932, Liefg. 8.

Busch: Kurzgefaßte Einführung in die Herstellungsmethode des Zahnbohrers. Busch u. Co, Engelskirchen.

Funke: Schmerzloses Bohren! Verlag des Jota-Werkes, Gebr. Funke A.G., Düsseldorf.

Funke: Studie über Zahnbohrer. Verlag der De Trey G.m.b.H., Berlin W. 8, Solila-Haus.

Huet: Les Fraises, Extrait du Journal Dentaire Belge, 3, 1933.

Probst: Unterstützende Hinweise zur psychologisch einwandfreien Behandlung von Patienten, Zahnärztliche Mitteilungen 1936, Nummer 46.

Reiffert: Verbesserungen in der modernen Bohrertechnik. Dissertation in Münster, 1935.

Salzmann: Über den Wirkungsgrad der Rundbohrer auf Zahnschmelz unter Berücksichtigung von Tourenzahl und Druck der Bohrmaschine. Vierteljahrsschrift der Zahnheilkunde 1931, Heft 1.

Scheiber: Experimentelle Untersuchungen über die Leistungsgröße der gebräuchlichsten zahnärztlichen Bohrinstrumente als Grundlage der Konstruktion von Hochleistungsbohrern. Korrespondenzblatt d. Zahnärzte, Bd. 5 und 6, 1932.

Seyppel: Untersuchungen über den Einfluß von Tourenzahl und Druck auf die Arbeitsleistung spanabhebender zahnärztlicher Werkzeuge. Dissertation in Köln, 1933.

Styrie: Die Wärmebehandlung des Stahles. Sein Vergüten und sein Härten. (Sammlung GOESCHEN).

Türkheim: Chemische Zusammensetzung der Zähne. Aus Kantorowicz: Handwörterbuch der gesamten Zahnheilkunde, Band 1, 1929. Verlag von Barth und Meusse.

Vogelsang: Die Reaktion der Pulpa auf plötzlichen Schmelzmangel. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde, 1922, Heft 4.

Lebenslauf:

Ich wurde am 20. Dezember 1914 zu Northeim als Sohn des Lokomotivführers Aloys Genau geboren. Nach dreijährigem Volksschulbesuch bestand ich am Gymnasium in Hildesheim 1924 die Aufnahmeprüfung. 1927—1928 war ich in der Untertertia des Gymnasiums in Northeim. Mein Vater wurde nun nach Duderstadt versetzt und am dortigen Gymnasium bestand ich 1933 die Reifeprüfung. Seit dem S. S. 1933 studierte ich in Göttingen Zahnheilkunde. Im Mai 1937 bestand ich dort das zahnärztliche Staatsexamen mit dem Prädikat „Gut". Seit der Zeit bin ich in der technischen Abteilung des zahnärztlichen Universitäts-Institutes unbesoldeter Volontär-Assistent.

Vom 1. April bis 30. September 1935 war ich im Reichsarbeitsdienst und vom 29. Juli bis 27. September 1937 bei der Luftwaffe (Flak) in Wolfenbüttel.